Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. 24, 4, 365-386 (2019)

BOLTED WELTED CONNECTION TO JOIN DIAGONAL TO GUSSET PLATE

**Roberto Aguiar[1,2], Telmo Sánchez[3], Marcos Zevallos[4]
Jorge Romero[1]**

[1]Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos., jiromerolol16@gmail.com
[2]Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
rraguiar@espe.edu.ec
[3]ADSTREN Ingeniería Estructural. tasanchez@adstren.com
[4]Departamento de Ingeniería. Universidad Técnica de Manabí. Marcoszevallos66@yahoo.com

Received: August 2019. Accepted: November 2019

ABSTRACT

Several experiences of reinforcement of structures are presented, with energy sinks on diagonals in the form of an inverted “V”, using a welded connection between the diagonal and the Gusset plate. It is shown that it is better to use a plate that is welded diagonally and bolted to the Gusset plate.

Then the theoretical framework of this welded-bolted connection is presented, with a solved example and finally a program is introduced that is incorporated into the ***CEINCI-LAB*** computer system for calculate bolted welted connections.

keywords: Welded-bolted connection. Gusset plate. TADAS heatsinks.

CONEXIÓN SOLDADA APERNADA PARA UNIR DIAGONAL A PLACA GUSSET

RESUMEN

Se presentan varias experiencias de reforzamiento de estructuras, con disipadores de energía sobre diagonales en forma de “V” invertida, empleando una conexión soldada entre la diagonal y la placa Gusset. Se hace ver que es mejor utilizar una placa que va soldada a la diagonal y empernada a la placa Gusset.

Luego se presenta el marco teórico de esta conexión soldada-apernada, con un ejemplo resuelto y finalmente se presenta un programa que se incorpora al sistema de computación ***CEINCI-LAB*** para el cálculo de conexiones: soldada-apernada.

Palabras Claves: Conexión soldada-apernada. Placa Gusset. Disipadores TADAS.

1. INTRODUCCIÓN

Se presentan dos casos de reforzamiento de estructuras en la ciudad de Manta, que fueron afectadas por el terremoto de 2016 (M=7.8) y una ampliación de dos pisos, realizada en la ciudad de Quito, donde se emplearon diagonales a secas y disipadores de energía sobre diagonales en forma de "V" invertida. En estos tres casos la conexión entre las diagonales y la Placa Gusset fue soldada, para el efecto en los extremos de la diagonal se hace un destaje y este se introduce en la Placa Gusset donde se suelda.

Las dos estructuras que fueron afectadas por el terremoto de 2016, a las que se hace referencia en el párrafo anterior, son: Tres Bloques Estructurales de la Empresa Molinos Superior y El ex parqueadero de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, que fue transformado en un edificio administrativo. La otra estructura en la cual se derrocó primero un piso existente de acero (por ser una construcción vulnerable sísmicamente) y luego se reconstruyó y se amplió un piso adicional es la Agencia Iñaquito de Produbanco.

En la empresa Molinos Superior, el reforzamiento se realizó en días que tenían planificado dar mantenimiento a los equipos, era uno o dos días en que se debía aprovechar al máximo el tiempo y el trabajo se efectuaba en jornadas de 24 horas, tres turnos de trabajo de 8 horas, cada vez que se autorizaban los trabajos. En la Agencia Iñaquito de Produbanco en cambio, se tenía que cumplir un cronograma de trabajo que obligó a trabajar también en tres turnos diarios.

A pesar de que los turnos son rotativos y que en teoría la gente viene descansando para trabajar por la noche, se corre el gran riesgo de que no se haga con calidad la soldadura, en este caso, entre las diagonales y las placas Gusset. Por este motivo es que pensó en otro tipo de conexión en la cual, por la noche lo que hagan es colocar pernos en lugar de soldar.

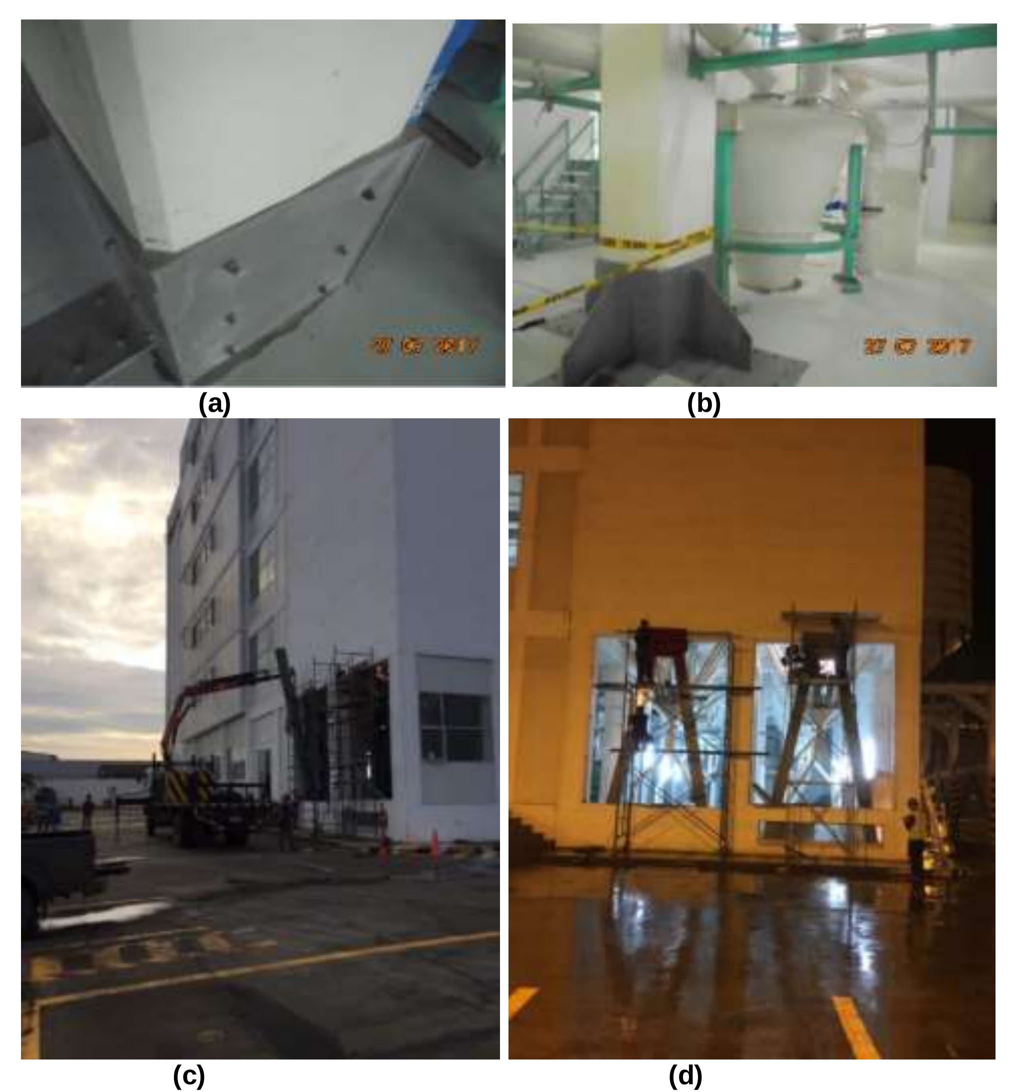
Por otra parte, en los tres proyectos anotados en el primer párrafo se tenía que hacer estas uniones en pisos altos, lo que dificulta la soldadura. En efecto, si se trabaja con el procedimiento MIG tubular, se debe estar llevando el equipo, hasta que se encuentre lo más cercano posible al sitio de la soldadura y si se suelda con palillos también es complicado soldar en las alturas.

Por todo lo indicado se debe procurar que la soldadura se lo haga en el piso y en las alturas únicamente se coloquen pernos en las uniones. Esto es lo que se consigue con la conexión soldada-apernada que se describe a partir del apartado 5, para fomentar su utilización se presenta el marco teórico de cálculo con el desarrollo de un ejemplo y se ofrece un programa en Excel que permite diseñar tres conexiones a saber: i) Conexión solamente apernada; ii) Conexión soldada; iii) Conexión soldada-apernada.

2. CONEXIONES SOLDADAS EN MOLINOS SUPERIOR

Tres bloques estructurales de la empresa Molinos Superior, de la ciudad de Manta, fueron afectados por el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8 y su comportamiento fue lo esperado de acuerdo a la filosofía de diseño de que ante

un terremoto la estructura sufra daño pero no colapse y sea posible después del evento sísmico, repararse a un costo aceptable.



(a) (b)

(c) (d)

Figura 1 Reforzamiento de Bloques Estructurales de Empresa Molinos Superior de la ciudad de Manta, afectada por el terremoto de 2016 (M=7.8); a) Collarin alrededor de la columna; b) Placa Gusset y de continuidad horizontal; c) Ingreso de columna de 5 m, de altura; d) Soldadura en conexiones de vano reforzado con diagonales.

La empresa Molinos Superior, nunca dejó de funcionar, talvez se bajo las horas laborables, para esto inmediatamente después del terremoto sus elementos dañados (vigas y columnas) fueron resanados con la inyección de resina epóxica y la colocación de fibra de carbono. Mera (2016).

En la fotografía de la figura 1 a, se observa que las columnas en los bordes está redondeado, requerimiento para poder colocar la fibra de carbono. Se aprecia

que se colocó un collarín de acero alrededor del nudo inicial de la columna mediante cuatro placas de acero, en la fotografía se ve que dos placas sobresalen y la tercera se encuentra entre las dos, unidas mediante un cordón de soldadura tipo ángulo; de igual forma se ve que la esquina fue llenada con gruta, para que las placas del collarín estén en contacto con los lados de la columna. (Aguiar y Del Castillo, 2016)

En la figura 1 b, se observa el collarín, la placa horizontal de continuidad y las placas Gusset, ya colocadas en una columna; de paso nótese los equipos que contiene la estructura (silos, molinos, banda transportadora). Fue bastante complejo el reforzamiento del edificio.

Ahora en la figura 1 c, se ve que con la ayuda de una grúa se está transportando una columna rectangular de acero, de 5 m, de longitud, la misma que tiene en sus extremos unos cortes que se insertarán en las placas Gusset inferior y superior, tarea bastante compleja por las dimensiones de los elementos y la presencia de los equipos de la empresa.

Finalmente en la figura 1 d, se aprecia que están trabajando por la noche, se puede decir que buena parte de las compañías constructoras, trabajan tres turnos; esto tiene sus ventajas (terminar la obra lo más rápido posible) y desventajas (disminución de la calidad del trabajo). Al trabajar en el turno de la noche, el ser humano no va a tener la misma concentración que trabajar en el día y puede cometer errores, eso por una parte.

Por otro lado, soldar a 5 m, de altura, es complicado aunque se lo haga de día y se tengan andamios como se observa en la figura 1 d. Es verdad que se hacen pruebas de soldadura (Dispersión de partículas) pero no se hace en todas las conexiones. Por eso es mejor todo lo que sea suelda se lo haga en el suelo y esto se va a logran con el tipo de conexión que se muestra en el apartado 5.



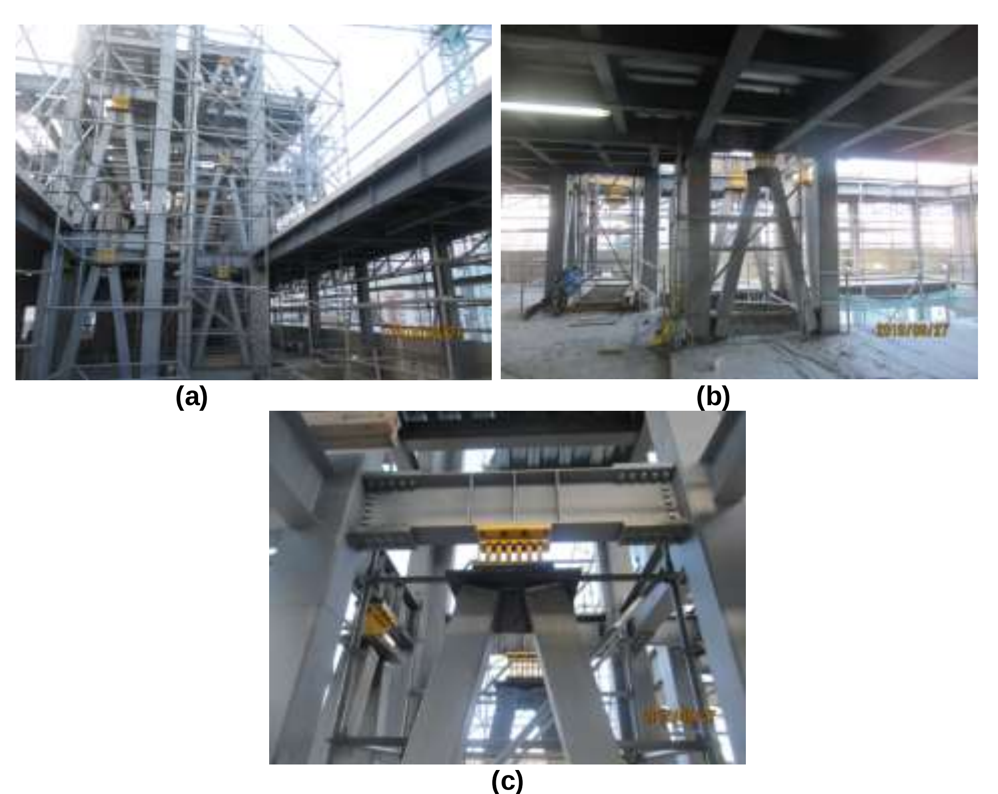
Figura 2 Dos disipadores TADAS de 6 placa cada uno, colocado sobre diagonales de acero en forma de “V” invertida y conexión soldada entre diagonal y placa Gusset, en reforzamiento de Molinos Superior. Aguiar y Del Castillo, 2016.

En la figura 2, se presenta otro ejemplo, del reforzamiento realizado en la empresa Molinos Superior, donde se aprecia que es bastante difícil realizar la soldadura entre las diagonales y la placa Gusset superior (Fotografía Central) difícil por la falta de espacio y por la altura de las diagonales. En la fotografía de la derecha se ve con claridad la conexión soldada.

3. CONEXIÓN SOLDADA EN AGENCIA IÑAQUITO

La Agencia Iñaquito de Procubano, en la ciudad de Quito, tiene dos bloques estructurales, el número 1, fue construido en 1978 y el 2 en 1996. Con el pasar del tiempo, en el Bloque Estructural 1, se incrementó un piso con acero, en el cual colocaron las columnas, sin respetar la ubicación de los ejes estructurales de los pisos superiores y prácticamente se tenía un bosque de columnas.

Este piso fue derrocado y las columnas se colocaron en los ejes donde existen columnas en los pisos inferiores, de tal manera que se tiene mayores áreas libres. Por otra parte, en el piso superior se tiene una gran pérgola y la losa ocupa menos de la mitad del área de la planta.



(a) **(b)**

(c)

Figura 3 Subida de dos pisos de ascensores con disipadores de energía TADAS con 6 placas sobre diagonales de acero y conexión soldada a placa Gusset; a) Vista de las estructuras de dos ascensores que subieron 2 pisos, el último que aparece en la fotografía es cuarto de máquinas; b) Vista de los ascensores de uno de los pisos, en la parte inferior se muestra la conexión soldada; c) Detalle de conexión **B**olted **F**lange **Pl**ate en viga de acero al igual que 3 rigidizadores sobre TADAS.

Los ascensores y gradas tuvieron que subir 2 pisos más, con la estructura de acero que se muestra en la figura 3, las columnas y diagonales son tubulares de sección cuadrada y las vigas IPE. Aguiar *et al.* (2019)

Lo que interesa es ilustrar que las estructuras de los ascensores subieron tres pisos más, que son: i) Para la losa que se derrocó y se volvió a reconstruir, es la del Piso Alto 8; ii) La media losa del Piso 9; iii) Cuarto de máquinas. En la figura 3 a, se observa estos tres pisos y se observa que sus conexiones se realizaron en la altura.

La figura 3 b, se observa dos de los ascensores del Piso 7, la losa es del Piso 8. Nótese que en sus lados se tiene un disipador de energía TADAS sobre contravientos de acero en forma de "V" invertida. Las diagonales transmiten la carga por medio de las placas Gusset que están en la parte inferior y en la parte superior se tiene: la placa Gusset superior y una placa de continuidad horizontal sobre la que va el disipador TADAS.

La placa Gusset superior conjuntamente con la placa horizontal se soldaron en tierra, es más la placa secundaria de flexión del TADAS fue soldada a estas dos placas y lo que se hizo fue subir todo el conjunto a sus sitio.

En la figura 3 b, se aprecia que las diagonales están insertas en las placas Gusset y su conexión esta soldada. Esto mismo se hizo en los pisos altos de la figura 3 a, ahí ya se tuvo que colocar andamios y soldar en altura, que es lo que se pretende evitar con la conexión que se indica en el siguiente apartado.

Hay varias cosas que mostrar en la fotografía de la figura 3 c, la primera de ellas es la presencia del disipador TADAS de 6 placas, la placa se corte se ha colocado en la parte superior y la placa de flexión en la parte inferior. La viga IPE que se halla sobre el disipador tiene la conexión precalificada BFP (Kotulka, 2007; Dowswell, 2011). En la fotografía se ven las dos placas de flexión con 10 pernos cada una y una placa de corte con 5 pernos A 425, en cada conexión. En la figura 4 se muestran las placas de flexión y de corte del disipador TADAS que han sido muy investigados (Whittaker *et al.* 1989; Tsai *et al.* 1993; Nangullasmú y Tena, 2017; Tena y Ramírez, 2017).



Figura 4 A la izquierda se observa la placa de flexión y a la derecha la placa de corte, también conocida como cremallera o peineta. SPD (2017).

Por otra parte, nótese que sobre el disipador, en la viga IPE se colocaron tres placas verticales con lo que se da más rigidez a esa zona.

Por considerarlo de interés en la figura 5, se indica la forma como se colocó las diagonales que contienen a los disipadores TADAS en el **cuarto de máquinas** del ascensor 4, del Bloque Estructural 2. Se podía haber pensado en construir la losa del cuarto de máquinas sobre columnas que vayan apoyadas directamente sobre las columnas y posteriorme sobre la losa del cuarto de máquinas se colocarían las diagonales para soportar el disipador TADAS. Este procedimiento habría generado una *columna corta* entre la losa del cuarto de máquinas y la losa de piso.

Por este motivo se colocaron las diagonales en la forma indicada en la figura 5 a. y la losa del cuarto de máquinas que se apoya en vigas y estos a su vez en cuatro apoyos (uno en cada columna) que se observan en las fotografías de las figuras 5 b, y 5 c.

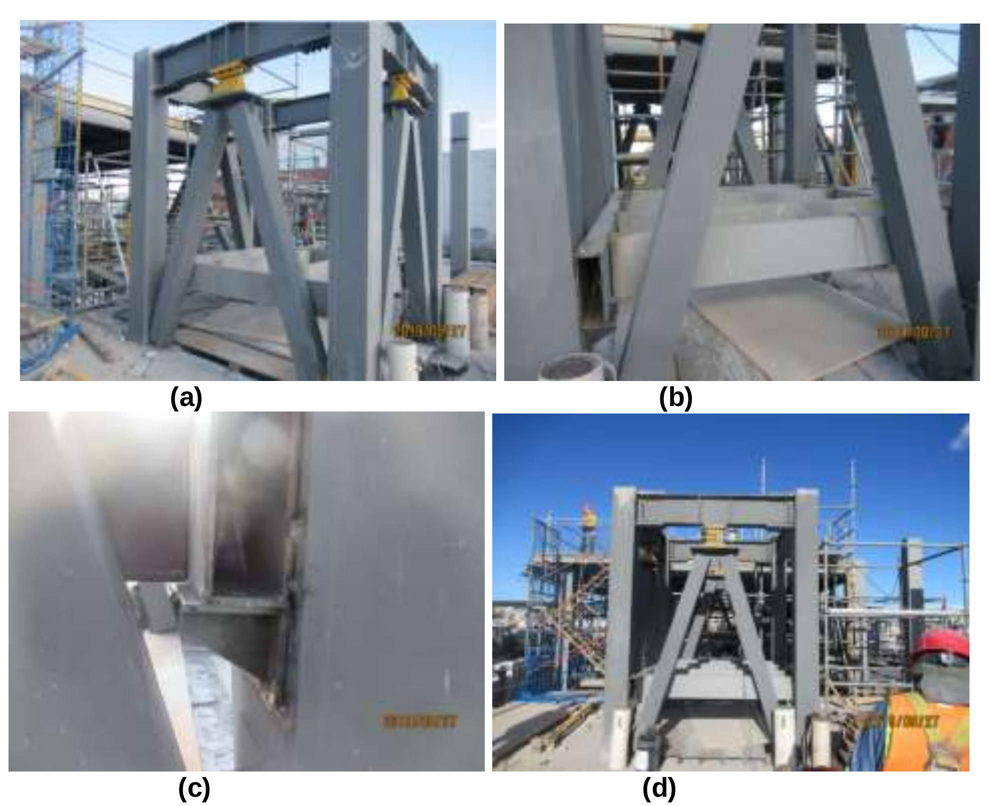


Figura 5 Detalle de contravientos en cuarto de máquinas de Ascensor 4 de Bloque Estructural 1; a) Disipadores de energía TADAS sobre diagonales que llegan hasta el piso; b) Vigas para soportar la losa del cuarto de máquinas; c) Apoyo de vigas de cuarto de máquina; d) Vista de un disipador TADAS de 4 placas.

En la figura 5 a, se tiene un TADAS de 6 placas y en la figura 5 d, se observa un TADAS de 4 placas, todo esto en el ascensor 4, la explicación de esto es debido a que en los pisos inferiores se tiene un muro de hormigón armado que forma parte del ascensor. Aguiar *et al.* (2019)

4. CONEXIÓN SOLDADA EN EX PARQUEADERO

Es increíble el cambio que tuvo el parqueadero de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, después de ser reforzado, quesó como un edificio nuevo, tema que se hablará posteriormente. Por ahora se continúa describiendo la conexión soldada, para ello en la figura 6 a, se muestran varios tubos con un destaje en los extremos para ser colocados en las placas Gusset.

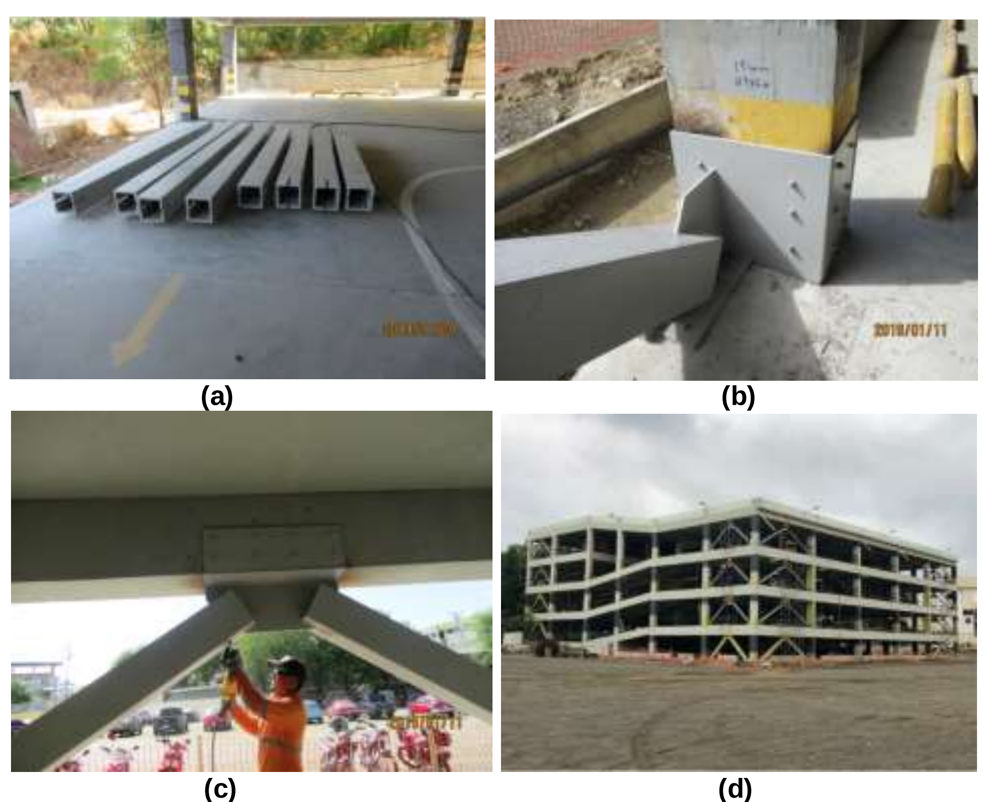


Figura 6 Reforzamiento de Ex Parqueadero de ULEAM; a) Tubos cuadrados con destaje para insertarse en placas Gusset; b) Colocación de Tubo en Gusset, todavía no está centrado el perfil tubular; c) Colocación de perfiles en Gusset superior; d) Vista del reforzamiento, en las cuatro esquinas se colocaron las diagonales en Primer Piso y disipadores TADAS sobre diagonales en pisos superiores.

La fotografía de la figura 6 b, corresponde a un instante del proceso constructivo, únicamente han insertado el tubo en la diagonal, todavía falta centrarlo y soldarlo a la placa Gusset inferior. En la figura 6 c, se muestra las diagonales insertadas en la placa Gusset superior, de igual manera, no está terminado.

La figura 6 d, es una panorámica que muestra que se reforzó en las cuatro esquinas del ex parqueadero; en los dos pórticos que llegan a la esquina se colocaron diagonales cuadradas en el primer piso; dos disipadores TADAS de 6

placas sobre diagonales circulares en el segundo piso; un disipador TADAS de 6 placas sobre diagonales circulares. Aguiar y Del Castillo (2018)



(a) (b)

Figura 7 a) Las autoridades de la ULEAM, decidieron que el reforzamiento quede visible; b) Una rampa convertida en Auditorio.

Normalmente, la gente no desea ver el reforzamiento y lo ocultan colocando planchas de madera en sus lados, pero en el caso de la ULEAM, las autoridades decidieron mostrar el reforzamiento, por eso luce como se ve en la figura 7 a, donde están colocando los vidrios en el segundo piso. El tener visible el reforzamiento permite observar después de un terremoto el estado en que quedaron los disipadores de energía. En principio estos dispositivos pueden ser cambiados después de un terremoto pero se procura en el diseño que esto no ocurra.

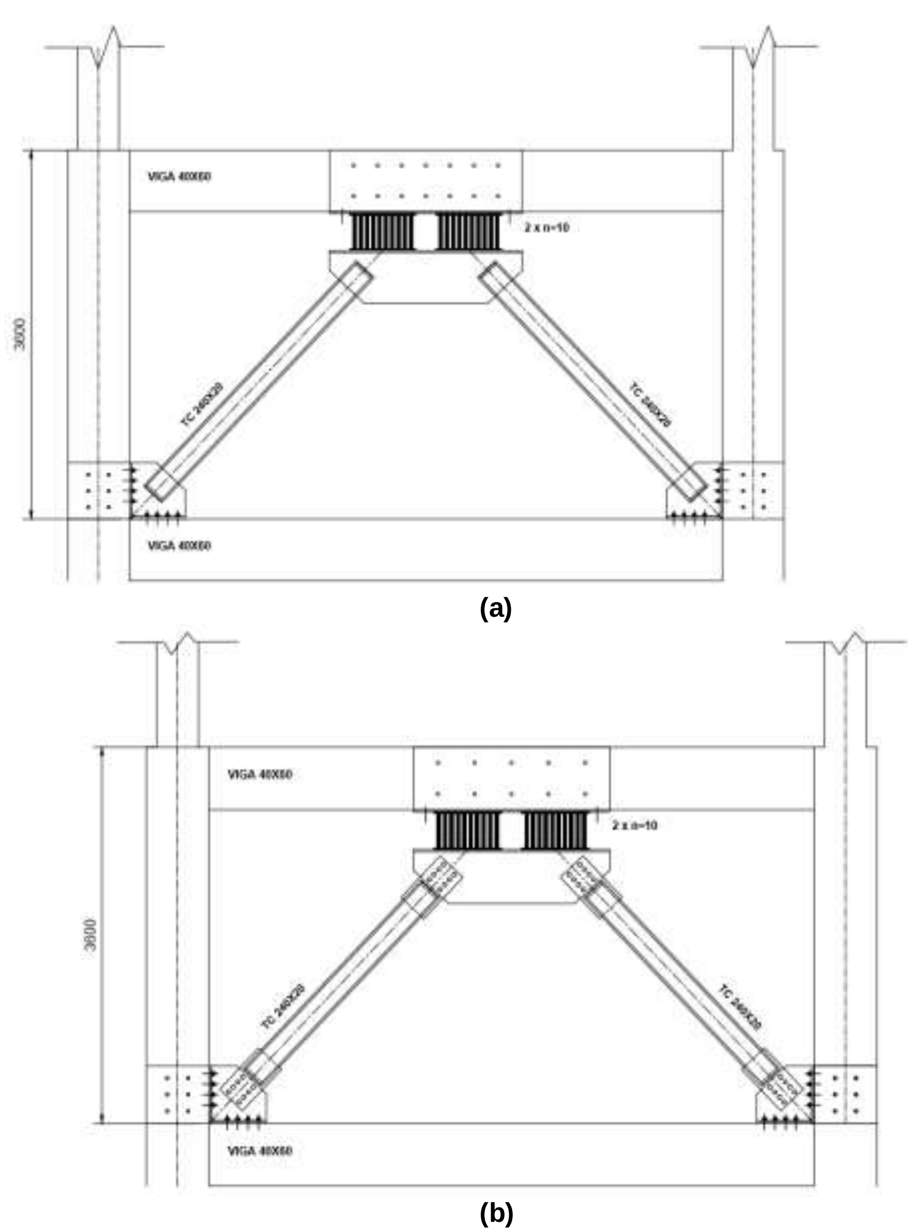
La fotografía de la figura 7 b, corresponde a uno de los tantos auditorios que tiene este edificio en las rampas del parqueadero, se aprecia un Auditorio muy funcional y moderno.

5. CONEXIÓN SOLDADA-APERNADA

En la figura 8 a, se muestra la conexión soldada que se ha presentado en los apartados anteriores y en la figura 8 b, la conexión soldada-apernada cuyo cálculo se indica en el siguiente apartado.

¿Cuál es la ventaja de usar la conexión soldada-apernada? La ventaja radica a que en el piso se hace el destaje del tubo de la diagonal, similar a lo indicado en la figura 6 a, pero se inserta la placa de unión que se muestra en la figura 8 b, y se suelda por sus lados. Al trabajar de esta manera se garantiza una mejor calidad de la suelda.

Una vez que se tiene el tubo con la placa de unión se coloca en el sitio definitivo con la colocación de los pernos que unen la placa de unión con la placa Gusset. Aquí también se tiene otra ventaja y es que en la conexión soldada se tiene que hacer un destaje más largo para poder insertar la placa.



(b)

Figura 8 Dos conexiones de diagonal tubular, redonda o cuadrada a placa Gusset inferior y superior; a) Conexión soldada; b) Conexión soldada-apernada.

¿Ahora se desea saber cuál cuesta más, la conexión soldada (figura 8 a) o la conexión soldada-apernada (figura 8 b)? Para contestar esta pregunta, primero se debe mirar la longitud de las diagonales de las dos conexiones, se aprecia que en la conexión soldada, la longitud es mayor. Pero en la conexión soldada-apernada se requiere la placa de unión y la colocación de pernos. De tal manera que se puede decir que las dos conexiones valen lo mismo.

En la conexión soldada-apernada, la diagonal no topa la placa Gusset, se deja una separación que está alrededor de los 2 cm. Esto le permite mayor rotación

que la conexión soldada. Esto se puede considerar también como una ventaja estructural.

6. MARCO TEÓRICO DE LA CONEXIÓN

En el diseño de la conexión: soldada-apernada, se debe diseñar dos elementos a saber: i) La Placa de Conexión entre la diagonal y placa Gusset; y, ii) La Placa Gusset propiamente dicha. En este apartado se presenta el marco teórico respectivo y se complementa su explicación con el desarrollo de una conexión para un tubo cuadrado de 200 mm, de lado interior, 20 mm, de espesor, que se denomina TC 240/20 mm con acero A36, la diagonal está sometida a cargas de compresión y de tensión de 50 T.

La diagonal cuadrada tiene 240 mm, de lado exterior, por lo que se decide que el ancho de la placa de conexión sea de 300 mm, de esta manera queda salido a cada lado 30 mm, y el espesor de la misma es igual al espesor de la diagonal. La longitud de la placa (tentaba inicial) es de 480 mm, de esta cantidad 250 mm, se insertan en la placa; 20 mm, para cubrir la separación entre la diagonal y la placa Gusset y 210 mm va sobre la placa Gusset.

El diseño de la placa de conexión, comprende: i) Determinación del número de pernos (Apartado 6.1); ii) Diseño por bloque de corte (Apartado 6.2); iii) Aplastamiento y desgarre (Apartado 6.3); iv) Diseño a tensión (Apartado 6.4).

Por otro lado, el diseño de la placa Gusset, considera: i) Análisis del Bloque de Corte (Apartado 6.5); ii) Aplastamiento y desgarre (Apartado 6.3, ya indicado); iii) Fluencia en sección de Whitmore (Apartado 6.6); iv) Resistencia a cortante vertical (Apartado 6.7); v) Análisis de la Capacidad a Compresión (Apartado 6.8).

6.1 Número de pernos requerido

La capacidad nominal al corte de un perno A325 es $F_{nv} = 3370\ \frac{kg}{cm^2}$. Se va a calcular con pernos de 7/8'' de pulgada. Luego la capacidad al corte de 1 perno V_{nv} vale.

$$\emptyset\ V_{nv} = 0.75 * F_{nv} *\ A_b$$

$$\emptyset\ V_{nv} = 0.75 * 3370 * \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{7}{8}\right)^2 * \left(2{,}54^2\right)\right] = 9805.4\ Kg = 9.80\ T.$$

Por lo tanto, cada perno A325 de 7/8'' resiste al corte 9.80 T. Para cubrir la demanda de 50 T.m se requieren 6 pernos (6*9.80=58.8 T). Al tener 6 pernos, la separación a los bordes es de 40 mm, y la separación entre pernos es de 65 mm, que se observa en la figura 9 a.

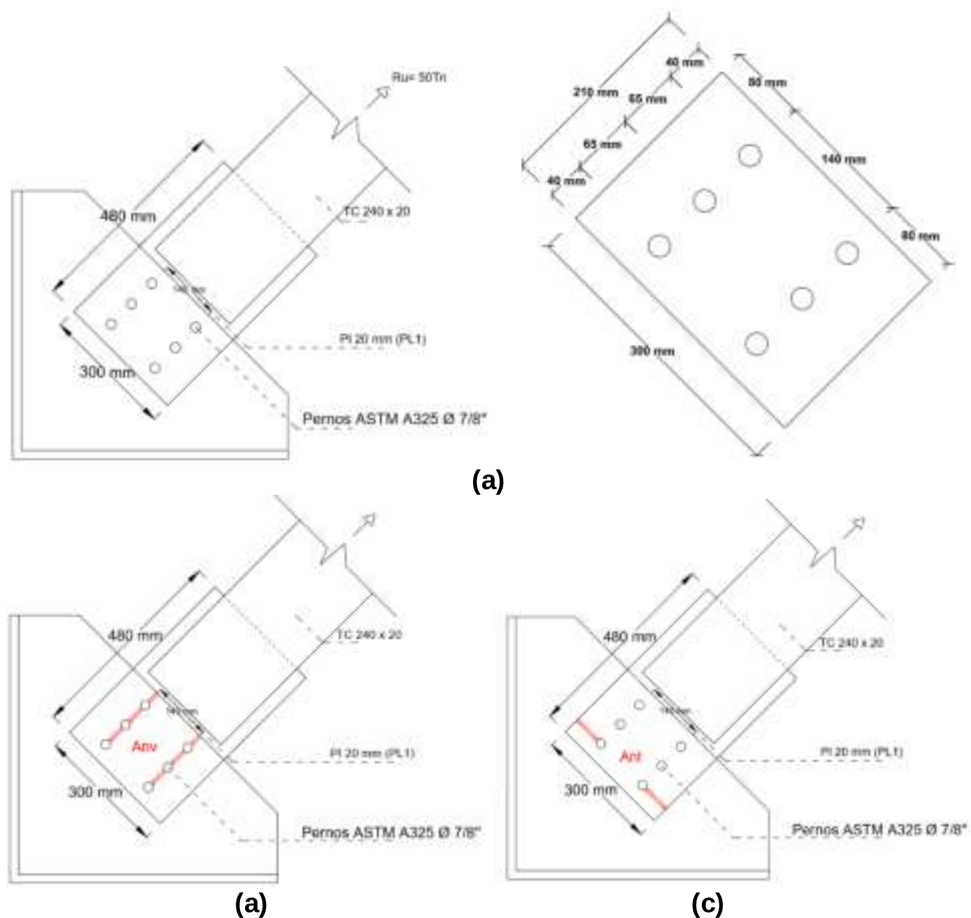


Figura 9 a) Geometría de placa de unión de 480/300/20 mm, con 6 pernos de 7/8'' A 325; b) Determinación de A_{nv}; c) Determinación de A_{nt}. Es importante destacar que el cálculo se realiza en la placa de conexión.

6.2 Diseño por bloques de corte

Se debe verificar que: $\emptyset\ R_n$ sea mayor que la fuerza de corte

$$\emptyset\ R_n = 0.6\ F_u\ A_{nv} +\ F_y\ A_{gt}\ \leq 0.6\ F_y\ A_{gv} +\ F_u\ A_{nt}$$

Donde F_y,F_u, son los límites de fluencia y último del acero, en este caso del A36; A_{nv} es el área neta a cortante; A_{gt} es el área bruta a tensión; A_{gv} es el área bruta a tensión; A_{nt} es el área neta a tensión. Todos estos cálculos son en la placa de conexión, por eso se trabaja con el espesor de la placa de conexión que en este caso es 20 mm. (El ejemplo no es muy didáctico debido a que el espesor de la placa de conexión es igual al espesor de la placa Gusset). En la figura 9 b y c, se indica el significado de estas variables. A continuación se presenta su cálculo.

$$A_{nv} = 20 * \left[(40 + 65 + 65) - 2,5 * \left(\frac{7}{8} * 25,4 + 1,5 \right) \right] * 2 = 4427.6\ mm^2 = 44.276\ cm^2$$

$$A_{nt} = 20 * \left[\frac{(300 - 140)}{2} - 0,5 * \left(\frac{7}{8} * 25,4 + 1,5 \right) \right] * 2 = 2752\ mm^2 = 27.52\ cm^2$$

$$A_{gv} = 20 * (40 + 65 + 65) * 2 = 6800\ mm^2 = 68.00\ cm^2$$

$$A_{gt} = 20 * \left[\frac{(300 - 140)}{2} \right] * 2 = 3200\ mm^2 = 32.00\ cm^2$$

Al reemplazar valores se tiene:

$$\emptyset\ R_n = \emptyset * [0.6 * 3450 * 44.276 + 2480 * 32 \leq 0.6 * 2480 * 68 + 3450 * 27.52]$$

$$\emptyset\ R_n = 0.75 * [171010 \leq 196128]$$

$$\emptyset\ R_n = 0.75 * 171010 = 128260\ Kg = 128.26\ T$$

La fuerza de tensión actuante $R_u = 50\ T$, es menor que $\emptyset\ R_n$> Luego está OK.

6.3 Aplastamiento y desgarre en la placa

Se debe encontrar $\emptyset\ R_n$ (capacidad) como el menor valor de la resistencia al aplastamiento y al desgarre de la placa:

- **Aplastamiento**

$$\emptyset\ R_n = 0.75 * \left(2.4 * d_{bw} * t_p\right) * F_u$$

- **Desgarre de la placa**

$$\emptyset\ R_n = 0.75 * \left(1.2 * L_c * t_p\right) * F_u$$

Donde d_{bw} es el diámetro del perno; t_p es el espesor de la placa de acero; F_u es el esfuerzo último del acero de la placa; L_c es la distancia del orificio al borde, que se va a denominar L_{ce} o la distancia entre orificios que se denomina L_{ci}.

$$L_{ce} = 40 - 0,5 * \left[\frac{7}{8} * (25,4) + 1,5 \right] = 28,14\ mm$$

$$L_{ci} = 65 - \left[\frac{7}{8} * (25,4) + 1,5 \right] = 41,28\ mm$$

Aplastamiento

$\emptyset\ R_n = 0.75 * \left[2.4 * \frac{7}{8} * (2.54) * 2 * 3450\right] = 27.6\ T$

Desgarre de placa

$\emptyset\ R_{ne} = 0.75 * 1.2 * 2.814 * 2 * 3450 = 17.47\ T$ (Perno exterior)

$\emptyset\ R_{ni} = 0.75 * 1.2 * 4.128 * 2 * 3450 = 25.635\ T$ (Perno interior)

Los menores valores se obtienen en desgarre de placa. Luego al multiplicar por el número de pernos, se obtiene:

$$\emptyset\ R_n = 2 * 17.47 + 4 * 25.635 = 137.5\ T$$

El valor de $\emptyset\ R_n$ es mayor que las 50 T. Por lo tanto, cumple satisfactoriamente.

6.4 Capacidad a Tensión

La capacidad a tensión $\emptyset\ T_n$ de la placa adjunta a la Gusset viene dada por:

$$\emptyset\ T_n = \emptyset\ F_y\ A_g = \emptyset\ F_y * \ b_p * \ t_p$$

La variable todavía no definida es b_p que es el ancho de la placa, adjunta a la Gusset. Al susituir valores se tiene:

$$\emptyset\ T_n = 0.9 * 30 * 2 * 2480 = 133.9\ T$$

La capacidad a Tensión de la placa 133.9 T >50 T. Por lo tanto, está O.K.

A continuación se indica el diseño de la Placa Gusset, aunque algunos controles ya se los ha indicado.

6.5 Cortante de bloque

El área neta de corte A_{nv} y el área bruta de corte A_{gv}, son iguales que de la placa de conexión debido **a que el espesor de la placa Gusset es igual al espesor de la placa de conexión**, si no lo fueran serían diferentes. Se repiten estos cálculos.

$$A_{\ nv} = 20 * \left[\ (40 + 65 + 65) - \ 2,5 * \left(\frac{7}{8} * 25,4 + 1,5\right)\right] * 2 = 4427.6\ mm^2$$
$$= 44.276\ cm^2$$
$$A_{gv}\ = 20 * (40 + 65 + 65) * 2 = 6800\ mm^2\ = 68.00\ cm^2$$

El área neta de tensión A_{nt}, al igual que el área bruta de tensión cambian debido a que la sección de falla se da en el gramil (entre los dos pernos) se recalca

que se calcula con el espesor de la placa Gusset (En este caso es igual al espesor de la placa de conexión).

$$A_{nt} = 20 * \left[140 - \left(\frac{7}{8} * 25{,}4 + 1{,}5\right)\right] = 2325{,}5\ mm^2$$

$$A_{gt} = 20 * 140 = 2800\ mm^2 = 28.00\ cm^2$$

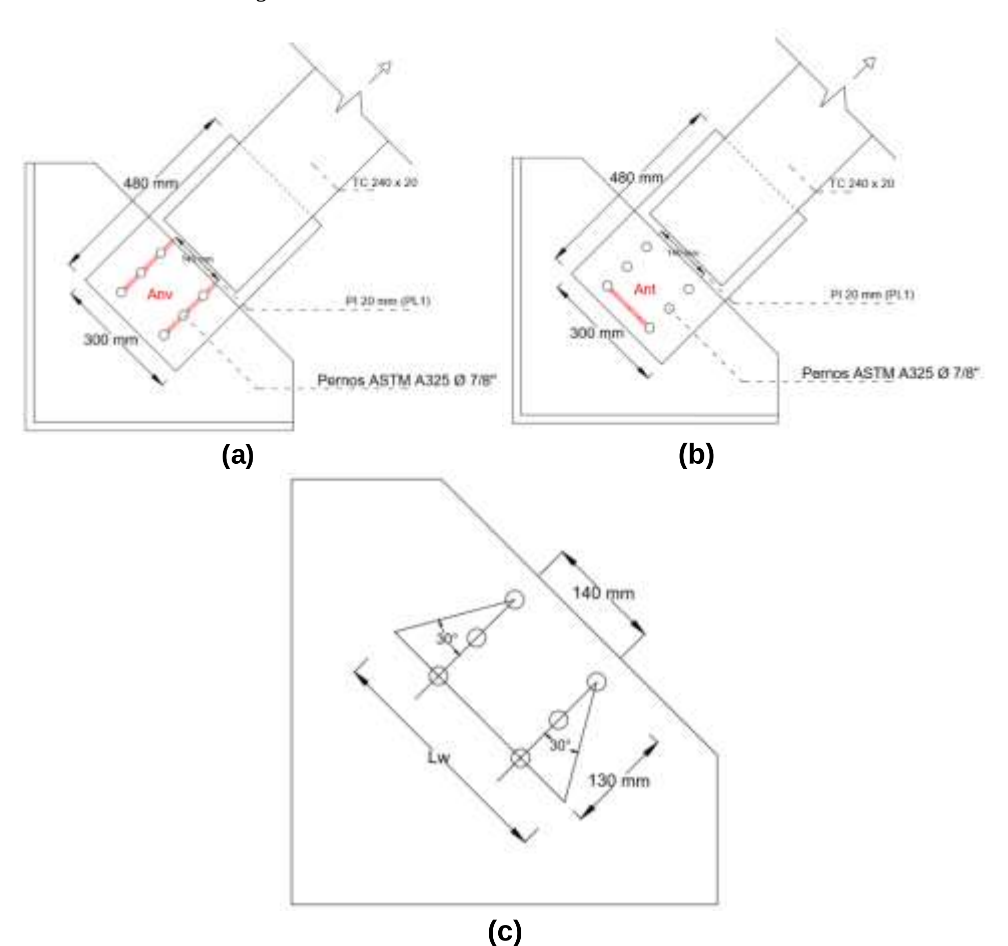


Figura 10 Diseño de la Placa Gusset; a) Área Neta de corte en la Gusset A_{nv}; b) Área Neta a Tensión en la Gusset; c) Longitud de Whitmore.

Luego

$$\emptyset\ R_n = 0.75 * 161090 = 120820\ Kg = 120.8\ T$$

La capacidad al Bloque de Corte de la Placa Gusset es mayor que la demanda (50T) Luego está O.K.

6.6 Fluencia en sección de Whitmore

En la figura 10 c, se muestra cómo debe hallarse el ancho de Whitmore L_w, en este caso se tienen 3 pernos en la placa, luego la altura $L_1 = 2 * 65 = 130\ mm$. En base a esta altura se tiene:

$$L_w = s_g + 2 * tag\ 30^0 * L_1$$

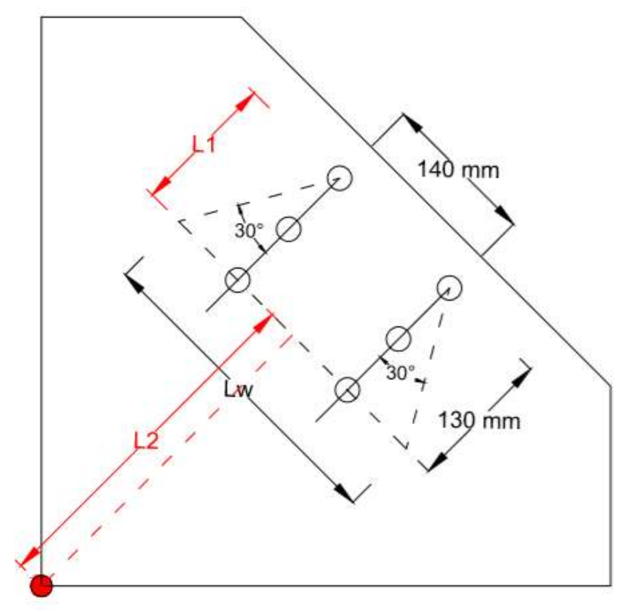
Donde s_g es la distancia entre los pernos; L_1 es la altura de la placa de continuidad que está cmpletamente unida a la Gusset. Nótese que se está considerando que la distribución de presiones de Whitmore se da con un ángulo de 30⁰ (Puede variar este ángulo de acuerdo a la experticia del Proyectista)

$$L_w = 140 + 2 * \tan\left(\frac{\pi}{6}\right)\ 130 = 290.11\ mm = 29.01\ cm$$
$$A_g = L_w *\ t_{pg} = 29.01 * 2 = 58.02\ cm^2$$

Siendo t_{pg} el espesor de la placa de Gusset. A_g, es el área a tensión.

$$\emptyset\ R_n = 0.9 * 2480 * 58.02 = 129500\ Kg = 129.5\ T$$

La placa Gusset, en el área de influencia de Whitmore tiene una resistencia a la tracción de 129.5 T (Capacidad) que es mayor a las 50 T, de la demanda. O.K.



Figuran 11 Variables que intervienen para encontrar la capacidad a corte directo y a compresión de la Placa Gusset.

6.7 Resistencia a cortante vertical

En base a las longitudes L_1 y L_2, se determina en primer lugar el área bruta de corte A_{gv} y la resistencia al corte mediante las siguientes ecuaciones.

$$A_{gv} = (L_1 + L_2) * t_{pg}$$

$$\emptyset\, R_n = \emptyset\,\left(0.6 * F_y * A_{gv}\right)$$

El significado de todas las variables ha sido ya indicado. Ahora, al reemplazar valores se tiene:

$$A_{gv} = (13 + 35) * 2 = 96\ cm^2$$

$$\emptyset\, R_n = 0.9 * (0.6 * 2480 * 96) = 128560\ Kg = 128.56\ T.$$

La capacidad al cortante 128.56 T, es mayor que la demanda 50 T. O.K.

6.8 Resistencia a la compresión

A continuación se determina la capacidad a compresión de la Placa Gusset, calculada en base a una sección de ancho L_b y de espesor el de Placa Gusset t_{pg} y que tiene una longitud igual a L_2, ver figura 11. El cálculo se realiza en base a la relación de esbeltez $K\,L/r$, que se muestra a continuación para la columna TC 240/20 mm.

$$A_g = L_b * t_{pg}$$

$$A_g = 240 * 20 = 4800\ mm^2$$

$$I_x = \frac{L_b\, t_p^3}{12} = \frac{240 * 20^3}{12} = 160000\ mm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{160000}{4800}} = 5{,}77\ mm$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 350}{5{,}77} = 60.66$$

Ahora bien, en base a la relación de esbeltez, se tiene:

$$\frac{K\ L}{r} \leq 25 \qquad P_n = F_y\ A_g$$

$$\frac{K\ L}{r} > 25 \qquad P_n = F_{cr}\ A_g$$

Estamos en el segundo caso $\frac{K\,L}{r} > 25$. Luego se debe hallar

- Cálculo de F_{cr} en base al esfuerzo del pandeo flexional por compresión F_e

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Ahora se tienen dos casos para hallar F_{cr}

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y$$

$$\frac{F_y}{F_e} > 4.71\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad F_{cr} = 0.877\ F_e$$

- **Valores numéricos**

$$4{,}71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4{,}71 * \sqrt{\frac{2000000}{2480}} = 134$$

El valor encontrado es mayor que la relación de esbeltez (134>60.66). Luego se tiene Pandeo Inelástico.

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{Kl}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 2000000}{(60.66)^2} = 5364\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{2480}{5364} = 0.46.$$

Luego

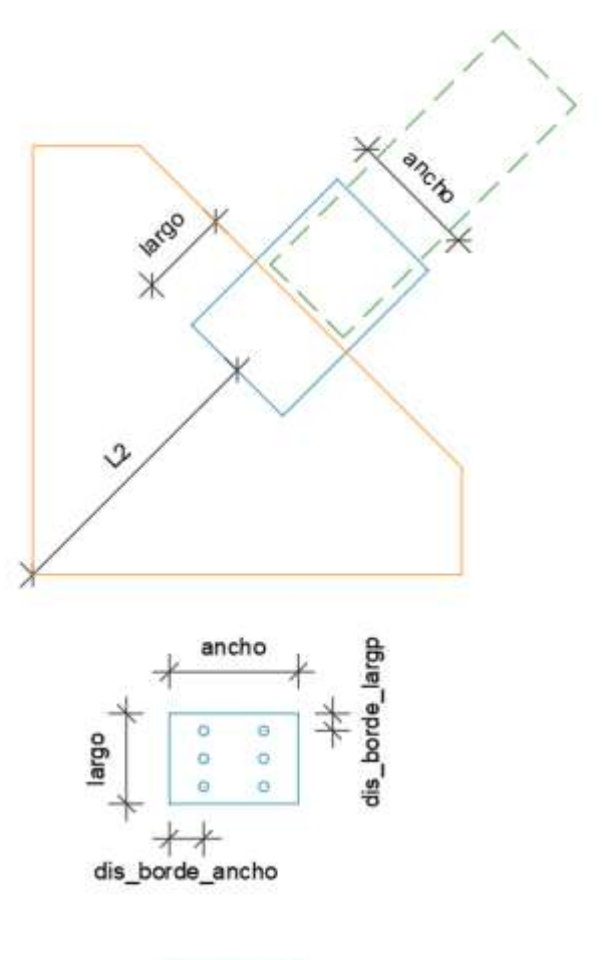
$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) * Fy = \left(0.658^{\frac{2480}{5364}}\right) * 2480 = 2043.7\ \frac{kg}{cm^2}$$

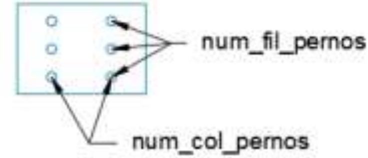
$$\emptyset\ P_n = 0.9 * A_g * F_{cr} = 0.9 * 48 * 2043.7 = 88288\ Kg = 88.28\ T$$

La capacidad de la placa Gusset a compresión (88.28 T) es mayor que la demanda a compresión 50 T. Luego está O.K.

7. NUEVA CONTRIBUCIÓN A *CEINCI-LAB*

Para el cálculo de las placas se elaboró dos programas que generan un vector con la resistencia nominal de la placa de enlace y la placa gusset. Las placas calculadas en el presente artículo se describen a continuación






```
%% EJERCICIO:
% Calcular la capacidad nominal de una placa de unión y placa gusset para una conexión soldada apernada, basado en el informe entregado por el Dr. Marco Zevallos
clear all
clc
%% DATOS
% UBICACIÓN Y PROPIEDADES DE PERNOS
Dia_pernos=7/8*2.54; %cm    Diáemtro de los pernos usados en las placas
dis_borde_ancho=8; %cm      Distancia al borde ancho de la placa de unión
dis_borde_largo=4; %cm      Distancia al borde ancho de la placa de unión
num_col_pernos=2;%          Número de columnas de pernos en la placa
num_fil_pernos=3;%          Número de filas de pernos en la placa
FNV=3370; %kg/cm²           Capacidad nominal de un perno A3370
```

```
% PLACA DE UNION
ancho=30; %cm            Ancho de placa de unión
largo=21; %cm            Largo de placa de unión
e=2; %cm                 Espesor de la placa de unión
Fu=3450; %kg/cm²         Límite último del acero
Fy=2480; %kg/cm²         Límite de fluencia del acero
E=2000000; %kg/cm²       Módulo de elasticidad del acero

% PLACA
e_gusset=2; %cm          Espesor de la placa gusset
L2=35; %cm               Longitud que trabaja a compresión
Tc_a=24.0; %cm           Diámetro o ancho de la diagonal usada

%% DISEÑO DE PLACA DE UNION
%dis_union=[Fuerza en pernos  Diseño por bloque de corte   Aplastamiento  y
desgarre   Capacidad a tension]
[dis_union]=displaca_union(FNV,largo,ancho,Dia_pernos,e,dis_borde_largo,dis_bo
rde_ancho,num_col_pernos,num_fil_pernos,Fu,Fy)/1000;

%% DISEÑO DE PLACA GUSSET
% dis_gusset=[Cortante  de bloque   Sección de Whitmore   Cortante vertical
Resistencia a compresión]
[dis_gusset]=displaca_gusset(largo,ancho,Dia_pernos,e_gusset,dis_borde_largo,d
is_borde_ancho,num_col_pernos,num_fil_pernos,L2,Tc_a,Fu,Fy,E)/1000;
```

- ***displaca_union***

  Programa que determina la resistencia de los pernos, diseño por bloque cortante, aplastamiento y desgarre, y capacidad a tensión de la placa de unión entre la diagonal usada y la placa gusset. La nomenclatura de los datos de entrada de la placa de unión se muestra en la figura.

  Los datos de entrada son: ***FNV*** que es la capacidad nominal de los pernos usados; ***largo*** es el largo de la placa de unión; ***ancho*** es el ancho de la placa de unión; ***Dia_pernos*** es el diámetro de los pernos usados en la placa; ***e*** es el espesor de la placa de unión; ***dis_borde_largo*** es la distancia en el sentido largo al borde de la placa; ***dis_borde_ancho*** es la distancia en el sentido ancho al borde de la placa; ***num_col_pernos*** es el número de columnas de pernos a colocar ;***num_fil_pernos*** es el número de filas de pernos a colocar; ***Fu***; ***Fy*** son los límites de fluencia y último de acero.

- ***displaca_gusset***

  Programa que determina la resistencia de los pernos, diseño por bloque cortante, aplastamiento y desgarre, y capacidad a tensión de la placa de unión entre la diagonal usada y la placa gusset. La nomenclatura de los datos de entrada de la placa de unión se muestra en la figura.

  Los datos de entrada son: ***FNV*** que es la capacidad nominal de los pernos usados; ***largo*** es el largo de la placa de unión; ***ancho*** es el ancho de la placa de unión; ***Dia_pernos*** es el diámetro de los pernos usados en la

placa; ***e*** es el espesor de la placa de unión; ***dis_borde_largo*** es la distancia en el sentido largo al borde de la placa; ***dis_borde_ancho*** es la distancia en el sentido ancho al borde de la placa; ***num_col_pernos*** es el número de columnas de pernos a colocar ;***num_fil_pernos*** es el número de filas de pernos a colocar; ***L2*** es la longitud que trabaja a compresión de la placa gusset***; Tc_a*** es el ancho o diámetro de la unión a colocarse; ***Fu***; ***Fy*** son los límites de fluencia y último de acero; ***E*** es el módulo de elasticidad del acero.

8. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Normalmente, quienes trabajan en construcciones de acero, lo hacen en tres turnos de 8 horas, con lo que cubren 24 horas en un día, de tal manera que trabajan por la noche; a esas horas es bastante incierto que tan bien van a realizar la soldadura; si tienen que soldar en lugares altos, el tema se complica más.

Por este motivo, es que se debe procurar que todo lo que se suelda, sea realizado en tierra y dejar para los sitios altos únicamente colocar pernos. Con esta idea como base, en este artículo se presenta, el marco teórico, un ejemplo de cálculo y un programa de computación en Matlab, para el diseño de conexiones soldadas-apernadas.

A más de la ventaja de que la suelda se hace en el suelo; es bueno esta conexión debido a que las diagonales que llegan a las Placas Gusset, quedan separadas de las mismas con lo que se crea una articulación en el punto de la conexión, la unión se da por la placa que se suelda a la diagonal y se emperna en la placa Gusset. El tener articulado significa que no llega momento a la placa.

Por todo lo indicado, se considera que es una muy buena alternativa utilizar la conexión: soldada-apernada, en lugar de solo tener conexiones soldadas. En términos económicos las dos conexiones cuestan prácticamente lo mismo, de tal manera que no existe ventaja económica, pero si una gran ventaja de tener una conexión muy confiable.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Sarzosa C., Mora D., (2019); *Reforzamiento sísmico de Agencia Iñaquito de Edificio Produbanco con disipadores de energía TADAS,* Memoria de cálculo.
2. Aguiar R., Del Castillo F., (2018); *Reforzamiento sísmico de Ex Parqueadero de Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabi,* Memoria de cálculo,
3. Aguiar R., Silva H., Coyago H., (2016, a), "Desarrollo de un programa en Excel para diseñar placas Gusset. Aplicación a una estructura con disipadores de energía de UFA-ESPE" *Revista Ciencia,* **18 (3),** 353-380.
4. Aguiar R., Del Castillo F., (2016, b), *Reforzamiento Estructural de Bloques Estructurales de Empresa Molinos Superior,* 6 Capítulos de Memorias entregadas a Ing. Andrés Guerrón.
5. Dowswell, B. (2011). Connection Design for Steel Structures, Structural Design Solutions.

6. Kotulka, B. A. (2007). Analysis for a design guide on Gusset Plates used in Special Concentrically Braced Frames. University of Washington.
7. Mera W., (2016) *Reforzamiento con fibra de carbono de estructuras de Molinos Superior de la ciudad de Manta, afectada por el terremoto de 2016.* Memoria de cálculo.
8. Nangullasmú H., y Tena A., (2017), "Modelado de disipadores histeréticos de energía en estructuras de concreto reforzado. Diferencias entre análisis en el plano y en tres dimensiones", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (2),** 135-162.
9. SPD (2017) *Protección Sísmica mediante disipadores de energía TADAS,* Sistema de Protección Dinámica, Información entregada, 3 pp.
10. Tena A., Ramírez H., (2017), "Diseño sísmico resiliente de marcos dúctiles de acero con fusibles estructurales", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (4),** 421-457.
11. Tsai K-C., Chen H-W., Hong C-P. y Su Y-F, (1993), "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction", *Earthquake Spectra,* **9 (3),** 505-528.
12. Whittaker A.S., Bertero V., Alonso L., and Thompson C., (1989), *Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements,* Report UCB/EERC-89/02. Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.